

新型コア直視型融着接続機FSM-50S

光機器事業部 齊藤 茂*1・佐々木 一美*1・高橋 建次*1
大澤 孝治*1・大谷 拓*1・S. Chumpol*1

New Core Alignment Fusion Splicer FSM-50S

S. Saito, K. Sasaki, K. Takahashi,
K. Ohzawa, T. Ohtani & S. Chumpol

海外における中長距離光伝送路の光ファイバケーブルの接続は、極低接続損失が得られるコア直視型融着接続機を用いた融着接続が依然として主流である。コア直視型融着接続機に要求されるのは、接続損失の低減のみならず、作業現場を選ばない小型軽量化、短時間で大量の接続が行える高速接続性能、非熟練者でも高品質の接続が行える容易な操作性、失敗接続の防止機能である。これらの要求を満足した世界最速/最小/最軽量の新型コア直視型融着接続機FSM-50Sを開発した。

Optical fiber cable splicing in overseas for long and mid-span transmission lines has been mainly handled for ages by core alignment fusion splicers, which produce lowest possible splice loss. The requirement for the core alignment splicer is not just splicing performance (low splice loss) but also portability, high yield helped with quick splicing capability, skill-free easy operation, and availability of fail-safe functions to prevent faulty splicing. We have developed a new core alignment fusion splicer, which is the quickest/smallest/lightest of its kind in the industry.

1. ま え が き

経済発展に対応した通信インフラの拡充整備が盛んな中国などのアジア諸国では、光ファイバケーブルの融着接続が大量に行われている。

作業環境は多様化し、架空や狭い屋内での融着接続も増えたため、融着接続機の小型軽量化による携行性の向上が要求されている。また、単心光ファイバケーブルの融着接続が主流の海外市場においては、接続コスト削減のため、作業時間短縮も重要な課題である。なお、作業時間には、融着接続時間のみではなく、補強スリーブの補強加熱時間や融着接続機の操作に必要な時間も含まれる。

融着接続機の配備が増えている国では、融着接続の非熟練者が増加している。非熟練者の失敗接続に起因する再施工が発生すると、工事業者にとって無視できない損金が発生する。融着接続機には、熟練度を必要としない容易な操作性と失敗接続の防止機能が要求される。

これらに対応すべく、以下の特徴を有する新型コア直視型融着接続機FSM-50Sを開発した。

- (1) 世界最小 150mm角
- (2) 世界最軽量 2.8kg

- (3) 世界最速 SMファイバ接続時間 9秒
補強スリーブ加熱時間 35秒
- (4) 作業性向上
接続操作回数の削減など
- (5) 失敗接続防止機能
リアルタイム自動放電校正機能の搭載など

2. 装置の概要

装置の外観を図1に、従来機との仕様比較を表1に示す。



図1 新型融着接続機の装置外観
Appearance of new fusion splicer

*1 精密機器製品部

表1 仕様比較
Comparison of specifications

項目	新型機 FSM-50S	従来機 FSM-40S
1. 携行性		
寸法	150×150×150mm	172×186×180mm
質量	2.8kg	4.9kg
2. 接続性能		
平均接続損失	SMF：0.02dB	SMF：0.02dB
融着接続時間	9秒	15秒
補強加熱時間	35秒	60秒
バッテリー接続回数	200接続	50接続
3. 操作性		
接続手順回数	11回	17回
作業時間	77秒/接続	123秒/接続
操作補助機能	補強スリーブ 位置合わせ機能	-
操作方向変更	可	不可
液晶モニタ	5.6インチ	5.0インチ
4. 失敗接続防止機能		
放電強度校正	自動校正	手動校正
放電異常検出	起動遅延・ゴミ燃焼	-
ファイバ端面観察	角度・突起・欠け	角度

次節からその詳細を説明する。

3. 詳細

3.1 小型化

コア直視型融着接続機の小型化を実現するためには、容積の大部分を占める2対の光学観察系と、2対の光ファイバ調心機構の小型化が必要である。

光学観察系の設計では、対物レンズの構成を光ファイバ観察に特化させて最適化し、必要分解能を維持しながら、物像間距離を従来機（FSM-40S）の半分に短縮した（図2参照）。また、調心機構については、板バネ方式を採用することで、調心範囲を狭めることなく機構体積を半減させることに成功した。

この結果、新型機（FSM-50S）の装置寸法を、150mm角まで小型化できた。

3.2 軽量化

融着接続機は精密機器であり、各部品には高精度、かつ高信頼性が要求される。このためFSM-40Sの主要部品は、樹脂部品ではなく、アルミダイキャストで構成されていた。

FSM-50Sでは、さらなる軽量化のため、マグネシウムダイキャストを採用した。部品点数の削減効果と合わせ、従来機より約40%の軽量化を達成した。

3.3 高速化

3.3.1 接続時間の短縮

融着接続動作の中で最も時間を要するのは、光ファイバの調心動作である。FSM-40Sでは光ファイバ移動量の予測が困難であったため、移動と位置計測を複数回繰り返して調心を行っていた。FSM-50Sでは、移動量予測を

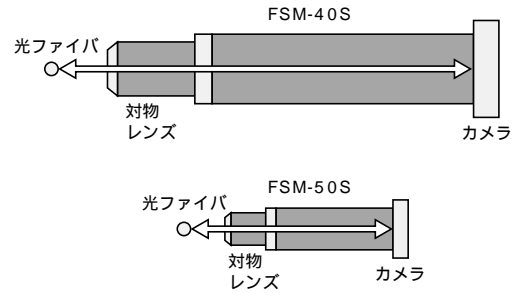


図2 光学観察系の比較
Comparison of optical observation system

表2 接続作業の比較
Comparison of splice operation

	新型機 FSM-50S	従来機 FSM-40S	
	11手順 77秒	17手順 123秒	
10秒	1. 左光ファイバをセットし、シースクランプを閉じる。 2. 右光ファイバをセットし、シースクランプを閉じる。 3. 風防を閉める。	1. 左光ファイバをセットし、シースクランプを閉じる。 2. 右光ファイバをセットし、シースクランプを閉じる。 3. 左ファイバクランプを閉じる。 4. 右ファイバクランプを閉じる。 5. 風防を閉める。 6. SETボタンを押す。	15秒
9秒	<光ファイバ融着接続>	<光ファイバ融着接続>	15秒
20秒	4. 風防を開ける。 5. 左シースクランプ開放。 6. 右シースクランプ開放。 7. 光ファイバの取り出し。 8. 補強スリーブの位置合わせ。 9. 補強加熱器に装着。 10. HEATボタンを押す。	7. 風防を開ける。 8. 左ファイバクランプ開放。 9. 右ファイバクランプ開放。 10. 左シースクランプ開放。 11. 右シースクランプ開放。 12. 光ファイバの取り出し。 13. 補強スリーブの位置合わせ。 14. 補強加熱器に装着。 15. 接続点の位置合わせ。 16. HEATボタンを押す。	30秒
35秒	<スリーブ加熱収縮>	<スリーブ加熱収縮>	60秒
3秒	11. 光ファイバの取り出し。	17. 光ファイバの取り出し。	3秒

容易にする機構と、予測精度の高いアルゴリズムを採用することで、調心動作をほぼ1回で完了できる。この結果、SMファイバで平均融着接続時間9秒を実現した。

3.3.2 補強加熱時間の短縮

FSM-40Sでは、補強加熱器の中央にヒータを配置し、熱伝導抵抗を利用して温度勾配を作り、補強スリーブ内の気泡混入を防止していた。FSM-50Sでは、異なる複数のヒータを分散配置し、温度勾配を保ちながら同時加熱することにより、長さ60mmの単心補強スリーブで平均補強加熱時間35秒を達成した。

3.4 操作性向上

3.4.1 接続手順回数の削減

FSM-50Sでは、表2のように接続手順回数を11回に削減し、作業時間を77秒に短縮した。非熟練者が接続作業を容易に習得できる設計になっている。

3.4.2 補強加熱器の操作性向上

図3に示すように、従来機の補強加熱器においては、光

ファイバ接続点と補強スリーブ中点を，補強加熱器の中央に位置合わせする必要があった．

しかし，光ファイバ素線の被覆が非着色（透明）の場合や補強スリーブが着色されている場合は，被覆除去際を目視確認できないため，補強スリーブの位置合わせが困難であった．そこで，FSM-50Sでは，図4の位置合わせ機能を搭載し，操作性向上を実現した．

[融着接続後の操作]

の壁に指を押し当てながら光ファイバを把持し，
 のように光ファイバを補強加熱器へ移動．
 の位置合わせレバーに，補強スリーブのエッジを引っ掛け，
 の壁に指が触れるまで光ファイバをスライドし，補強加熱器に補強スリーブをセット．

目視確認無しで正確な位置合わせが行えるため，補強スリーブの位置ずれを防止することができる．

3. 4. 3 作業環境に応じた操作方向の変更機能

光ファイバケーブルの接続作業では，光ファイバ余長や接続点収納部（クロージャ）の配置に応じて，融着接続機の最適な操作方向が変化する．FSM-40Sでは，前方操作型と後方操作型の2機種を開発した．今回のFSM-50Sの開発では，どちらの方向からも操作が行えるように共通化設計を行った．この結果，1機種で前方操作と後方操作の両方を可能にした．前方操作時と後方操作時の装置外観を図5に示す．

共通化を実現するため，液晶モニタと融着接続部カバーの可動範囲を広げ，操作ボタンは装置前後に2重配置した．また，モニタ表示画像を上下反転する機能も搭載している．作業者は操作方向を現場で選択することが可能になり，幅広い作業環境に対応できる柔軟な操作性を実現した．

3. 5 失敗接続の防止機能

3. 5. 1 リアルタイム自動放電校正

安定した低接続損失を得るためには，光ファイバに与える熱量を一定にする必要がある．しかし周囲環境（気圧・温度・湿度）の変化や，電極棒の状態変化等により，放電電圧・電流値を一定に制御しても，光ファイバに与える放電熱量は刻々と変化する．

FSM-40Sでは，周囲環境の変化を検出する気圧・温度・湿度センサを搭載し，放電強度の自動校正を行っていた．しかし，電極棒の状態変化等による放電強度の変化を自動校正する機能が無かったため，作業者はケーブル接続開始前に，光ファイバの軸ずらし接続を行い，手動校正を毎回実施する必要があった．

そこでFSM-50Sは，放電中の光ファイバの熱発光現象を利用して，放電熱量をリアルタイムに自動校正することを試みた．放電中の光ファイバの熱発光の様子を図6に，熱発光輝度を画像解析した結果を図7に示す．

図6は接続を行う光ファイバを図の右下のように配置して熱を加えた場合の光ファイバの発光輝度の写真であり，

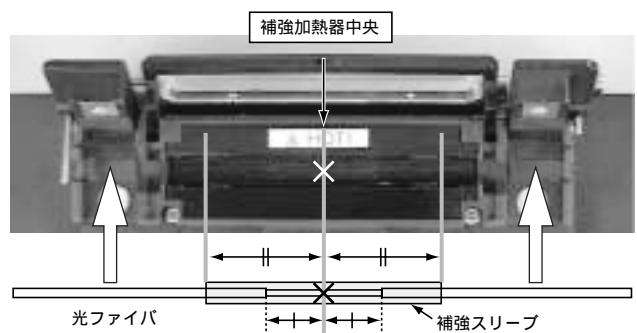


図3 補強スリーブの位置合わせ作業
Centering operation of protection sleeve

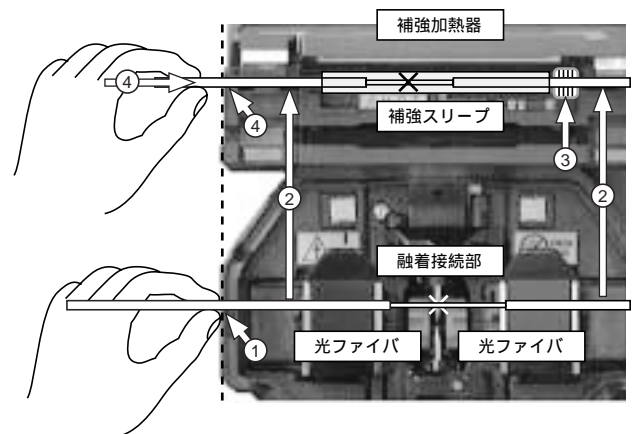


図4 補強スリーブの位置合わせ機能
Centering function of protection sleeve



図5 操作方向の変更機能
Change of operating direction

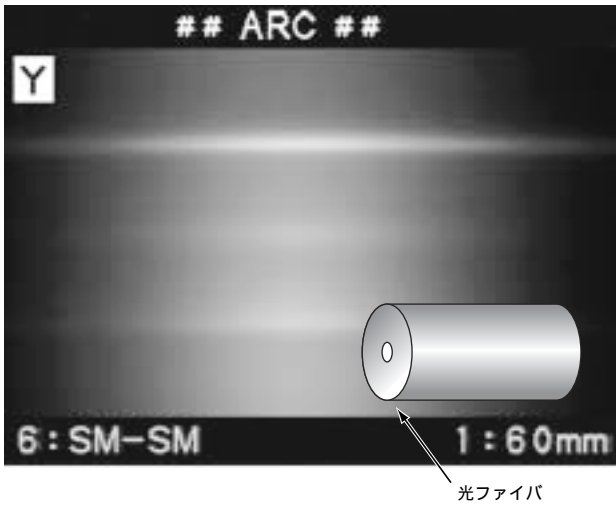


図6 光ファイバの熱発光
Thermal luminescence of optical fiber

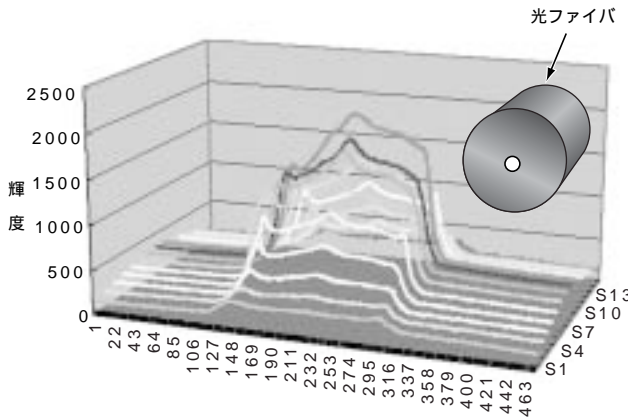


図7 熱発光の輝度分布
Brightness distribution of thermal luminescence

図7は図6から光ファイバの発光輝度を測定して、その分布をグラフにしたものである。図7では光ファイバの配置は図の右上のようにになっている。

光ファイバの熱発光輝度と放電電流には、図8のような相関がある。

以上の検討結果より、融着接続毎に光ファイバの熱発光輝度を測定し、最適放電熱量から得られる基準熱発光輝度との差を放電回路へフィードバックすることで、高精度なリアルタイム自動校正が実現可能になった。

放電熱量変化に敏感なコア偏心量の大きいSMファイバを、放電熱量が不安定になる環境で接続した場合の結果を図9に示す。FSM-40Sの手動校正方式で接続した場合と、FSM-50Sのリアルタイム自動校正方式で接続した場合を比較している。

このように、リアルタイム自動放電校正機能を搭載することで、いかなる状況においても、安定した接続損失を得ることができる。

3.5.2 各種異常の検知機能

従来は、熟練者がモニタ上で目視確認していた接続中の異常を画像処理によって定量的に測定し、接続損失増大が予測される場合は、接続作業の中断を促す機能を搭

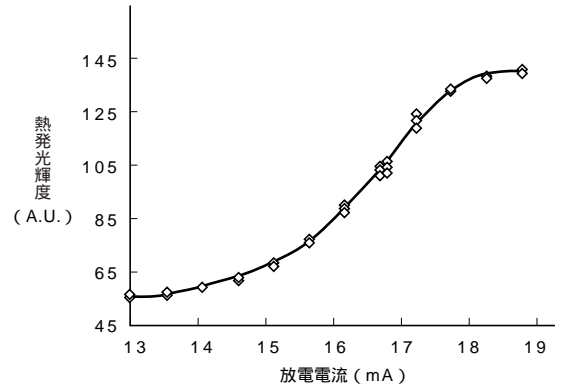


図8 放電電流と熱発光輝度の相関
Relation between arc discharge current and thermal luminescence

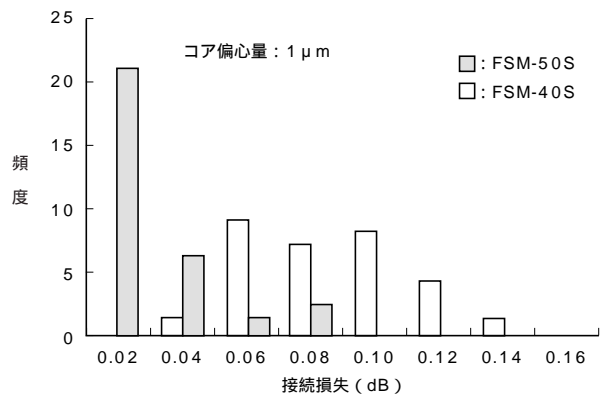


図9 放電校正方式の比較
Comparison of arc calibration method

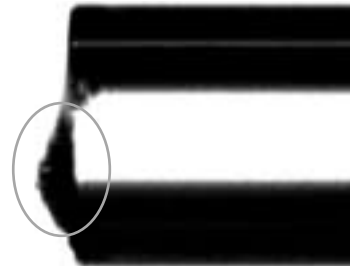


図10 ファイバ端面の突起物(リップ)
Lip of fiber end



図11 ファイバ端面の欠け(チップ)
Chip of fiber end

載した。FSM-50Sから追加された検知機能を以下に示す。
(1) 光ファイバ切断面の突起物(リップ)の突起量測定

(図10参照)

- (2) 光ファイバ切断面の欠け(チップ)量測定 (図11参照)
- (3) 定常放電に移行するまでの遅延時間測定
- (4) 放電中に燃焼しているゴミの発光輝度測定

以上の追加機能により、非熟練者であっても失敗接続を未然に防ぐことが可能になった。

4. む す び

今回開発したコア直視型融着接続機FSM-50Sは、世界最速 / 最小 / 最軽量の実現と同時に、操作性向上や失敗接続防止機能を充実させ、融着接続作業の効率化と接続損失の安定化を実現することができた。